

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-196188

(43)Date of publication of application : 15.07.1992

(51)Int.Cl.

H01S 3/133

(21)Application number : 02-318096

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 26.11.1990

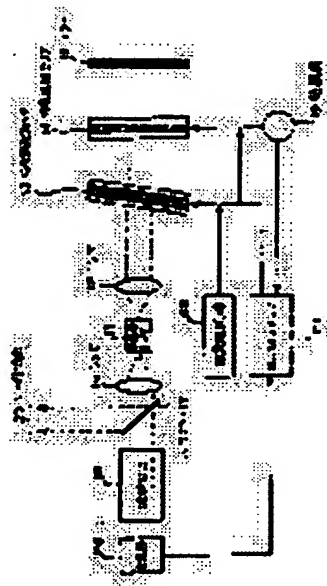
(72)Inventor : SAKAI YOSHIHISA  
KUROKAWA TAKASHI  
TSUDA HIROYUKI  
HIRABAYASHI KATSUHIKO

## (54) WAVELENGTH STABILIZATION LASER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make variable the oscillation wavelength of a semiconductor laser over a large range of wavelength area and stabilize the wavelength by roughly controlling the oscillation wavelength with a variable wavelength filter and finely controlling the oscillation wavelength with a variable phase shifter.

**CONSTITUTION:** In an external resonator of a semiconductor laser 11, there are installed a variable wavelength filter 13, which sets the oscillation wavelength of the laser 11 by the application of voltage and a variable phase shifter 14, using liquid crystal as a main component. A wavelength reference absorbing medium 18 absorbs only the light whose wavelength is specified from output light 20 emitted from the laser 11 and an electric signal equivalent to the light which has passed by this medium and the output of an oscillator 19 are supplied to a lock-in amplifier 111 where an error signal thus obtained is fed back to the filter 13 and the shifter 14. The filter 13 controls the oscillation wavelength roughly while the shifter further controls the wavelength more finely. This construction makes it possible to make variable the oscillation wavelength of the semiconductor laser over a large range of wavelength area and stabilize the value as well.



---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-196188

⑬ Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)7月15日

H 01 S 3/133

6940-4M

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全14頁)

⑮ 発明の名称 波長安定化レーザ装置

⑯ 特 願 平2-318096

⑰ 出 願 平2(1990)11月26日

⑱ 発 明 者 界 義 久 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 黒 川 隆 志 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 津 田 裕 之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 平 林 克 彦 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

明 細 書

1. 発明の名称

波長安定化レーザ装置

2. 特許請求の範囲

1) 少なくとも一方の光出射面が低反射加工された半導体レーザと、

当該加工の施された光出射面側からの出射光を受けて反射し、前記半導体レーザに戻すようになして当該半導体レーザに対する外部共振器を構成するミラー手段と、

透明電極、高反射ミラー、配向膜、液晶、配向膜、高反射ミラーおよび透明電極をこの順序に配置して構成され、前記半導体レーザと前記ミラー手段との間に配設された可変波長フィルタと、

透明電極、配向膜、液晶、配向膜および透明電極をこの順序に配置して構成され、前記半導体レーザと前記ミラー手段との間に配設された可変位相シフトと、

前記半導体レーザの発振波長を設定するための電圧を少なくとも前記可変波長フィルタに印加する電圧源と、

前記半導体レーザの残余の光出射面側からの出射光を受けて、所定の波長の光のみを吸収する波長基準吸収媒体と、

該波長基準媒体を通過した光を電気信号に変換する受光手段と、

所定波長の電気発振出力を発振する発振手段と、

前記受光手段からの電気信号と前記発振手段からの電気発振出力を受け、前記半導体レーザの発振波長と前記波長基準吸収媒体による基準吸収線とのずれを誤差信号として検出するロックインアンプと、

該ロックインアンプからの誤差信号を前記可変波長フィルタおよび前記可変位相シフトにフィードバックすると共に、前記発振器の電気発振出力を前記可変位相シフトに供給する手段とを備えたことを特徴とする波長安定化レーザ装置

置。

(以下余白)

## 3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、光通信および光計測における波長基準として用いるために、原子または分子気体の共鳴線および吸収線や光干渉計の波長を基準にとり、レーザ光をその基準に同期させることによって構成された波長安定化レーザ装置に関するものである。

[従来の技術]

この種の従来の波長安定化レーザ装置の一例の構成を第11図に示す。第11図において、1は半導体レーザ、2は波長基準吸収媒体、3は受光器、4はロックインアンプ、5は発振器である。発振器5によって直接変調された半導体レーザ1の片端面からの微小量の出射光6を波長基準吸収媒体2に通過させた後、受光器3で光電変換する。この電気信号を発振器5の出力とロックインアンプ4で比較して処理した後、半導体レーザ1に帰還させてその駆動電流を変えることにより、この半

導体レーザ1の発振波長を安定化させる。波長基準吸収媒体2としては、クリプトンなどの原子の共鳴線やアンモニアなどの分子の吸収線あるいは光ファブリペロ干渉計などの光干渉計などが使われている。7は半導体レーザ1からのレーザ出力光である。

[発明が解決しようとする課題]

しかしながら、かかる従来の波長安定化レーザ装置では、半導体レーザ1の発振波長の粗い調整は、半導体レーザ1の周囲温度を変化させることによって行っている。通常の半導体レーザでは、1℃あたり約0.1nmだけ発振波長が変化するので、例えば5℃から55℃まで50℃変化させたとしても、高々5nmしか可変させることができない。しかも、温度を変化させたとき、半導体レーザの端面間の距離に起因する発振縦モードとレーザ媒質の利得分布との相関関係から縦モード化や、モードホッピングなどの不安定な状態に陥ることがある。したがって、広い波長帯域にわたって複

数の発振波長で安定したレーザ光を得るためには、発振波長を過りすぐった複数の半導体レーザが必要であった。

本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、1台の半導体レーザで、複数の波長で安定化することができ、かつ極めて高い波長安定度のレーザ光が得られる実用的な波長安定化レーザ装置を提供することを目的とする。

[課題を解決するための手段]

上記目的を達成するため、本発明は、少なくとも一方の光出射面が低反射加工された半導体レーザと、当該加工の施された光出射面側からの出射光を受けて反射し、前記半導体レーザに戻すようになして当該半導体レーザに対する外部共振器を構成するミラー手段と、透明電極、高反射ミラー、配向膜、液晶、配向膜、高反射ミラーおよび透明電極をこの順序に配置して構成され、前記半導体レーザと前記ミラー手段との間に配設された可変波長フィルタと、透明電極、配向膜、液

品、配向膜および透明電極をこの順序に配置して構成され、前記半導体レーザと前記ミラー手段との間に配設された可変位相シフトと、前記半導体レーザの発振波長を設定するための電圧を少なくとも前記可変波長フィルタに印加する電圧源と、前記半導体レーザの残余の光出射面側からの出射光を受けて、所定の波長の光のみを吸収する波長基準吸収媒体と、該波長基準媒体を通過した光を電気信号に変換する受光手段と、所定波長の電気発振出力を発振する発振手段と、前記受光手段からの電気信号と前記発振手段からの電気発振出力を受け、前記半導体レーザの発振波長と前記波長基準吸収媒体による基準吸収とのずれを誤差信号として検出するロックインアンプと、該ロックインアンプからの誤差信号を前記可変波長フィルタおよび前記可変位相シフトにフィードバックすると共に、前記発振器の電気発振出力を前記可変位相シフトに供給する手段とを備えたことを特徴とする。

7

施例を示す構成ブロック図である。第1図において、11は片方の光出射端面が低反射加工された半導体レーザであり、その低反射コーティング加工された端面側からの出射光をレンズ12でコリメートする。レンズ12の出射光を、ガラス基板、透明電極、高反射ミラー、配向膜、液晶、配向膜、高反射ミラー、透明電極、ガラス基板をこの順序に積層して構成した可変波長フィルタ13、およびガラス基板、透明電極、配向膜、液晶、配向膜、透明電極、ガラス基板をこの順序に積層して構成した可変位相シフト14を介して、凹面ないし平面ミラー15に導く。

半導体レーザ11のレーザ出力光20は、コリメートレンズ16からハーフミラー17を介して取り出す。ハーフミラー17からの他方の出力光を波長基準吸収媒体としての吸収セル18を介して受光器110に導く。発振器19および受光器110の出力をロックインアンプ111に供給して比較処理し、発振器19の発振波長と波長基準吸収媒体18の基準吸収線とのずれを示す誤差信号を得、その誤差信号

#### 【作用】

本発明では、半導体レーザの外部共振器内に、主に液晶からなり、電圧印加により半導体レーザの発振波長を設定する可変波長フィルタと可変位相シフトとを配設し、半導体レーザの出力光から所定の波長の光のみを波長基準吸収媒体で吸収し、この媒体を通過した光に対応する電気信号と発振器の発振出力をロックインアンプに供給して得た誤差信号を可変波長フィルタおよび可変位相シフトにフィードバックし、可変波長フィルタで発振波長の粗調整を行い、可変位相シフトで発振波長の微調整を行なうようにしたので、半導体レーザの発振波長を従来よりはるかに広範囲の波長域で可変させ、半導体レーザの発振波長を安定化できる。

#### 【実施例】

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

第1図は本発明の波長安定化レーザ装置の一実

8

を可変波長フィルタ13および可変位相シフト14の各印加電圧にフィードバックする。ここで、ロックインアンプとは、発振器19からの発振出力を参照信号として、受光器110からの電気信号出力を、この参照信号にロックした状態で、増幅する、すなわちこの電気信号出力のうち参照信号に同期した成分のみを増幅する増幅器を意味し、得られた増幅出力電圧レベルを可変波長フィルタ13および可変位相シフト14に印加する。可変位相シフト14には発振器19からの発振出力をも印加する。40は可変波長フィルタ13に所望する発振波長に対応する設定電圧を印加するための電圧源である。なお、電圧源40から可変位相シフト14にも電圧を印加してフィルタ13と共に電圧を設定することもできる。

なお、可変波長フィルタ13のガラス基板上に可変位相シフト14およびミラー15を一体化して配置することができるのは言うまでもない。

可変波長フィルタ13を光軸に対して垂直な軸から傾けて配設してあるのは、可変波長フィルタ13

からの不要な反射光を半導体レーザー11に帰還させないためである。

次に、第2図に可変波長フィルタ13の一例の断面図を示す。ここで、21Aおよび21Bは無反射コーティング層、22Aおよび22Bはインジウムチンオキサイド(ITO)あるいは酸化錫などの透明電極層、23Aおよび23Bは高反射ミラー、24Aおよび24Bはポリイミドなどの配向膜、25Aおよび25Bはガラス基板、26は液晶層である。ガラス基板25Aおよび25B上に、それぞれ、層22A、23A、24Aおよび層22B、23B、24Bを配置する。層24Aと24Bとの間に液晶層26を配置する。ガラス基板25Aおよび25Bの外側表面には、無反射コーティング層21Aおよび21Bをそれぞれ配置する。27Aおよび27Bは配線であり、透明電極層22Aおよび22Bにそれぞれ接続する。

まず、可変波長フィルタの動作原理について説明する。第3図(a)および(b)には、液晶に電界を印加しない場合および印加した場合の液晶分子の配向を、それぞれ、示す。ここで、31は液晶層

26の液晶分子、32は配向膜24A、24Bに対応する配向膜であり、配向膜32に示してある矢印は配向方向である。例えば、液晶としてネマティック液晶、配向膜として厚さ数十から1000オングストロームの高分子膜を用い、配向処理(ラビングなど)を行うか、あるいは同様な厚さのSiO<sub>2</sub>の斜方蒸着膜を用いると、電界の無印加状態で、液晶分子31は配向膜32の配向方向に基板25A、25Bに平行に配位する。

これは配向処理にともない、(液晶の位置エネルギー)+(配向膜との相互作用エネルギー)が液晶分子31が配向方向に配位した時に最小となるからである。ところが、基板25A、25Bに垂直に電界を印加すると、液晶分子31が双極子モーメントを持つことに起因して、電界との相互作用が生じ、この系は液晶が電界方向に回転することによって、エネルギー的に安定となる。このとき、対向する配向膜32の配向方向は反対の向きになっているため、液晶分子31の回転方向は一意的に定まり、光の散乱要因であるディスクリネーションを避ける

1 1

ことができる。

ここで、液晶の配向方向に偏光した平行光を基板25A、25Bに垂直に入射する場合を考える。液晶分子31は異方性の大きい形状から推察される通り、光学的にも異方性が極めて大きい。このため、電界印加時に液晶分子31の回転と共に偏光面の方向の屈折率(n)が大きく変化する。屈折率変化は最大十数%にも及ぶ。ここで、屈折率nは電界Eの関数となり、次式で表される。

$$n(E) = n_0 + \Delta n(E) \quad (1)$$

ここで、 $n_0$ は電界無印加時の屈折率である。

可変波長フィルタ13では、対向するミラー23Aおよび23Bにこれら液晶層26と配向膜24Aおよび24Bとを挟んで、光共振器を構成している。ミラー23A、23Bの反射率をr、入射光の波長を $\lambda$ 、ミラー23Aと23Bとの間隔をLとすると、共振器の透過率T、共振波長 $\lambda_{res}$ は次式で表される。

$$T = 1/[1 + F \sin^2(2\pi n(E)L/\lambda)] \quad (2)$$

$$F = 4r/(1-r)^2 \quad (3)$$

1 2

$$\lambda_{res} = m/2n(E)L \quad (m=1, 2, \dots) \quad (4)$$

1つの共振ピークに注目して透過スペクトルを図示すると、第4図のようになる。ここで、実線は電界無印加時、破線は電界印加時の透過スペクトルである。(4)式から明らかなように、電界印加時に液晶層26の屈折率変化にともない共振ピークは移動する。すなわち、共振器外側の透明電極22Aと22B間の電位差を制御することによって、共振器の共振波長を制御し可変波長フィルタとして動作させることができる。可変波長フィルタの動作波長の上限と下限をそれぞれ $\lambda_{max}$ 、 $\lambda_{min}$ とすると、mの値の上限は次式で与えられる。この式は動作波長範囲にただ1つの共振ピークが存在する条件を表す。

$$m < 1 + \lambda_{max}/(\lambda_{max} - \lambda_{min}) \quad (5)$$

例えば、ミラー23A、23Bの反射率を99.0%、共振器長Lを1.5  $\mu\text{m}$ とすれば、半値幅0.22nmで約50nmの波長掃引が可能である。

次に、半導体レーザー11としての波長可変レーザダイオードの動作について説明する。可変波長

フィルタ13を挿入しない場合と、挿入した場合のレーザ共振器の利得スペクトルの模式図を第5図に示す。フィルタ13のない場合、利得スペクトルはレーザダイオードチップのコーティングのない出射端面と外部ミラー15との間での外部共振器モードによる線状の鋭いピークを持つスペクトルとレーザチップの両端面間での緩いピークを持つスペクトルとの重ね合せとなる。この結果、フィルタ13のない場合には利得の大きい $P_{\lambda_1,1}$ ,  $P_{\lambda_2,1}$ ,  $P_{\lambda_3,1}$ 等に対応する波長で多モード発振をする。ところが、ここに可変波長フィルタ13を挿入すると、外部共振器モードに基づく1つの利得ピークを選択し、それに対応する波長の光で発振させることが可能になる。ここでは、可変波長フィルタ13への印加電圧を制御し、 $P_{\lambda_1,1}$ の波長を選択していることを図示している。すなわち、可変波長フィルタ13への印加電圧を制御することで任意の外部共振器モード波長での発振が可能となる。また、波長の掃引速度は液晶の応答速度で決まるが、一般的には数ミリ秒で

あり、機械的な掃引に比較すれば3桁以上高速である。

第6図に可変位相シフタ14の構造の一例を示す。ここで、61Aおよび61Bは無反射コーティング層、62Aおよび62Bはインジウムチンオキサイド(ITO)あるいは酸化錫などの透明電極層、63Aおよび63Bはポリイミドなどの配向膜、64は液晶層、65Aおよび65Bはガラス基板である。ガラス基板65Aおよび65B上に、それぞれ、層62A, 63Aおよび層62B, 63Bを配置する。層63Aと63Bとの間に液晶層64を配置する。ガラス基板65Aおよび65Bの外側表面には、それぞれ、無反射コーティング層61Aおよび61Bを配置する。66Aおよび66Bは配線であり、透明電極層62Aおよび62Bにそれぞれ接続する。この可変位相シフタ14では、電圧印加にともない、液晶層64の屈折率が第1式のように変化するため、印加電圧を制御し、外部共振器長を変えることで、外部共振器モードに基づく利得ピークを数モード間隔分微調できる。

次に、第1図に示した実施例の波長安定化レー

1 5

ザ装置の動作を説明する。まず、電圧源40により可変波長フィルタ13の印加電圧を設定する。その状態で、所望の発振波長に近い波長で発振している半導体レーザ11より出射した光はレンズ16を経てハーフミラー17で2分され、一方の光は所定の波長の光のみを吸収する波長基準媒体18を通過し、その透過光は受光器110で光電変換される。

第7図は波長基準媒体18の吸収特性を示すものである。

ここで、可変位相シフタ14の印加電圧は発振器19で変調されており、これにより半導体レーザ11の発振波長が僅かに変化し、その出力光は周波数変調されている。さらに、半導体レーザ11の発振波長と基準吸収線からのずれをロックインアンプ111で検出し、その誤差信号を可変波長フィルタ13および可変位相シフタ14の各印加電圧にフィードバックして発振波長を安定化する。なお、可変波長フィルタ13は発振波長の粗い調整に用いられ、可変位相シフタ14は微調整に用いられる。

1 6

また、可変波長フィルタ13と可変位相シフタ14の動作条件によって、半導体レーザ11との光結合条件が変化することにより、出力光の強度が変化する場合、第8図に示す実施例の構成にすればよい。第8図において、第1図と同様の箇所には同一符号を付す。112はハーフミラー17からの出力光20を受けるハーフミラー、113はハーフミラー112からの一方の光を受ける受光器である。この受光器113からの電気信号出力をロックインアンプ111に供給し、それにより受光器113で半導体レーザ11の出力光20の強度の変動を監視する。吸収線からのずれの信号は受光器110と113との出力を比較することにより容易に得ることができる。

さらに、レーザ共振器のQ値をあげるため、リング共振器の構造にした実施例を第9図に示す。ここで、第1図と同様の箇所には同一符号を付す。本実施例では外部ミラー114および115とハーフミラー116とを追加し、これらミラー114, 115, 116とミラー15とによりリング共振器を構成

1 7

1 8

する。すなわち、ミラー16の反射光を、ミラー114 および115 を介して、ハーフミラー17とレンズ18との間に配置したハーフミラー116 に戻す。半導体レーザ11は両面とも低反射加工されている。第9図に示したミラーによるリング共振器に代えて、リング共振器を光ファイバで構成しても同様の効果が得られる。

ここで、本発明の具体例について述べる。例えば、第1図の装置構成において、半導体レーザ11として波長 $1.55\mu\text{m}$  で発振するInGaAsP系の分布帰還型半導体レーザ(DFB型LD)を使用し、その片端面の反射率を1%以下に加工して使用した。外部共振器で決定されるレーザ光の線幅は100MHzであった。セル長5cmの吸収セル18には、光吸収媒体として同位体置換アセチレンガス( $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ )を圧力500Torr封入した。

第10図はアセチレンガスと同位体置換アセチレンガスの光吸収特性を示す図である。ここで、吸収セル18のセル長は10cm、圧力は760Torrとした。

19

位体置換アセチレンガスを用いれば $1.50\mu\text{m}$  から $1.56\mu\text{m}$  の広範囲にわたって局在する多数の波長で安定化が可能である。

光吸収性ガスとして、アンモニアガス、メタンガス、二酸化炭素などを用いても前述した実施例と同様の動作原理によって発振波長を安定化することができる。

以上、本発明を実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、半導体レーザの外部共振器内に、可変波長フィルタと可変位相シフタとを配設し、半導体レーザの出力光から所定の波長の光のみを波長基準吸収媒体で吸収し、この媒体を通過した光に対応する電気信号と発振器の発振出力をロックインアンプに供給して得た誤差信号を可変波長フィルタおよび可変位

そのうち、 $1.54949\mu\text{m}$  の吸収線(半値全幅10GHz、吸収強度30%)を利用して前記半導体レーザ11をこの吸収線に波長同期させた。発振器19の周波数を500Hzとし、可変位相シフタ14を用いた周波数変調変位量は500MHzに設定した。このようにして、第1図の構成を用いた場合に、半導体レーザ11の中心発振波長の変動は $1 \times 10^{-4}\text{nm}$ (光周波数にして10MHz)以下に抑えられた。

次に、電圧源40により可変波長フィルタ13の印加電圧を調整して、 $1.52125\mu\text{m}$  の吸収線(半値全幅12GHz、吸収強度50%)を利用して前記半導体レーザ11をこの吸収線に波長同期させた。同様に、半導体レーザ11の中心発振波長の変動は $1 \times 10^{-4}\text{nm}$ (光周波数にして10MHz)以下に抑えられた。

第1図の実施例では、約30nmの広範囲にわたって、約0.6nmごとに存在する吸収線のいずれの波長においても半導体レーザの発振波長を安定化することができた。

特に、第10図に示したアセチレンガスおよび同

20

相シフタにフィードバックし、可変波長フィルタで発振波長の粗調整を行い、可変位相シフタで発振波長の微調整を行なうようにしたので、半導体レーザの発振波長を従来よりはるかに広範囲の波長域で可変させ、半導体レーザの発振波長を安定化できる。

このように、本発明では、半導体レーザの発振波長を極めて高精度で広範囲の波長に同期、安定化することができるので、コヒーレント光通信における波長標準光源や光計測における光源として利用できる利点がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明波長安定化レーザ装置の一実施例を示す構成ブロック図、

第2図は液晶を用いた可変波長フィルタの一例を示す断面図、

第3図は可変波長フィルタにおける液晶分子の配位図、

第4図は電界の印加に伴う可変波長フィルタの



透過スペクトルの変化を示す透過スペクトル図、

第5図はレーザ共振器の波長選択原理の説明用利得スペクトル図、

第6図は可変位相シフタの一例を示す断面図、

第7図は吸収セルの入出力特性として光吸収性ガスを透過した光の光強度を示す特性図、

第8図および第9図は本発明の他の2つの実施例を示すブロック図、

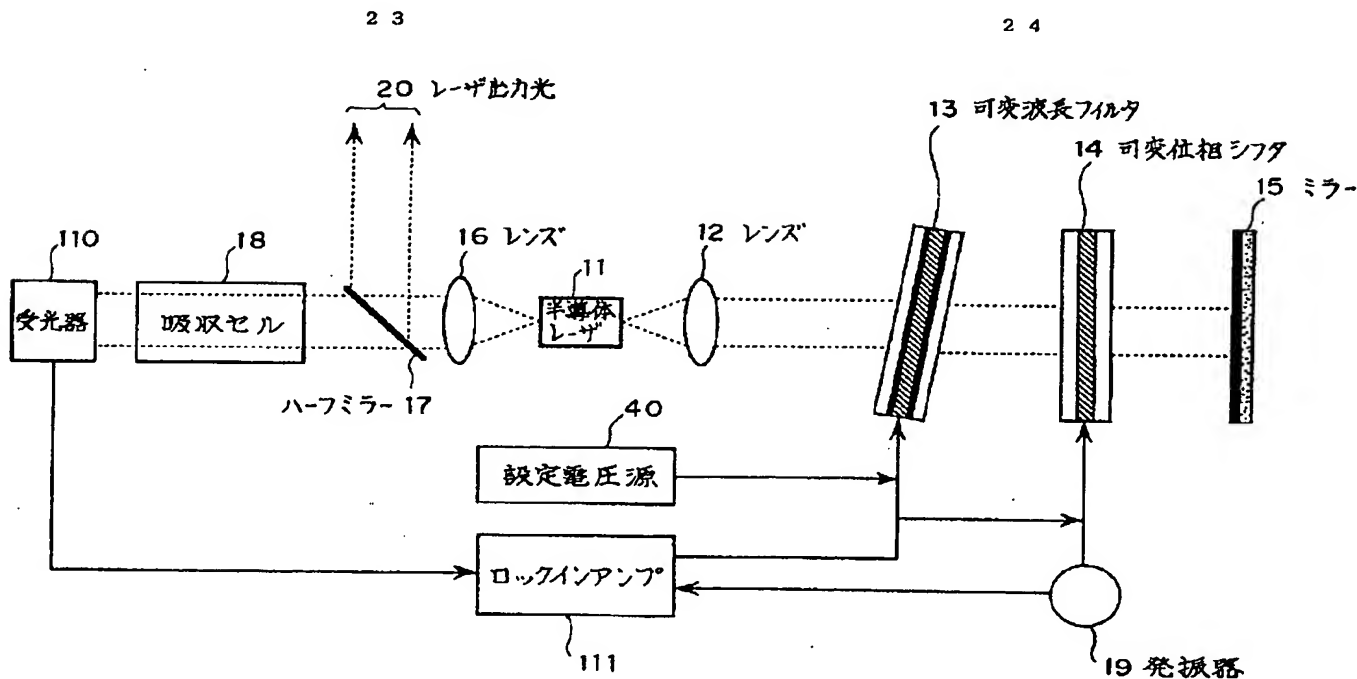
第10図はアセチレンガスと同位体置換アセチレンガスの光吸収特性図、

第11図は従来の波長安定化レーザ装置の一例を示す構成ブロック図である。

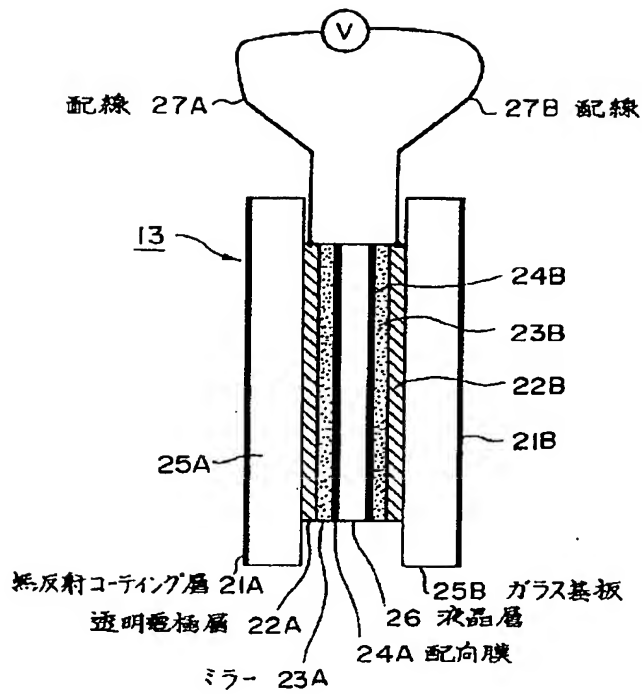
- 1, 11…半導体レーザ、
- 2, 18…吸収セル、
- 3, 110, 113…受光器、
- 4, 111…ロックインアンプ、
- 5, 19…発振器、

- 12, 16…レンズ、
- 13…可変波長フィルタ、
- 14…可変位相シフタ、
- 15, 114, 115…ミラー、
- 17, 112, 116…ハーフミラー、
- 20…レーザ出力光、
- 21A, 21B, 61A, 61B…無反射コーティング層、
- 22A, 22B, 62A, 62B…透明電極層、
- 24A, 24B, 63A, 63B…配向膜、
- 25A, 25B, 65A, 65B…ガラス基板、
- 26, 64…液晶層、
- 27A, 27B, 66A, 66B…配線、
- 31…液晶分子、
- 32…配向方向、
- 40…設定電圧源。

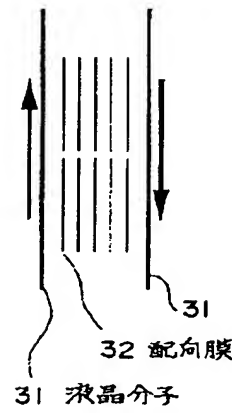
特許出願人 日本電信電話株式会社  
代理人 弁理士 谷 藤 一



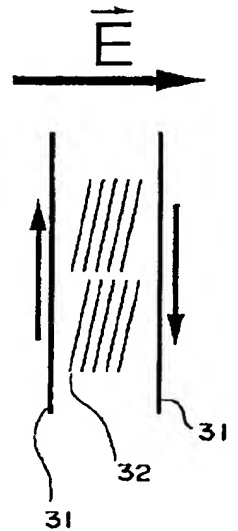
本発明実施例の構成ブロック図  
第 1 図



可変波長フィルタの断面図  
第 2 図

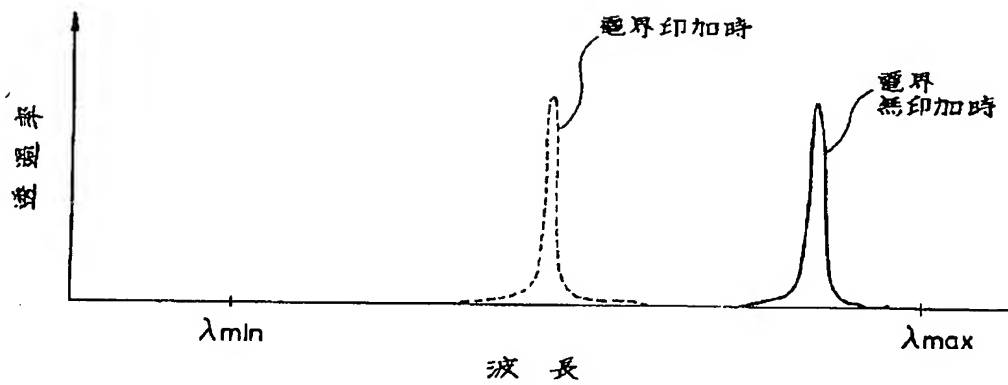


(a)

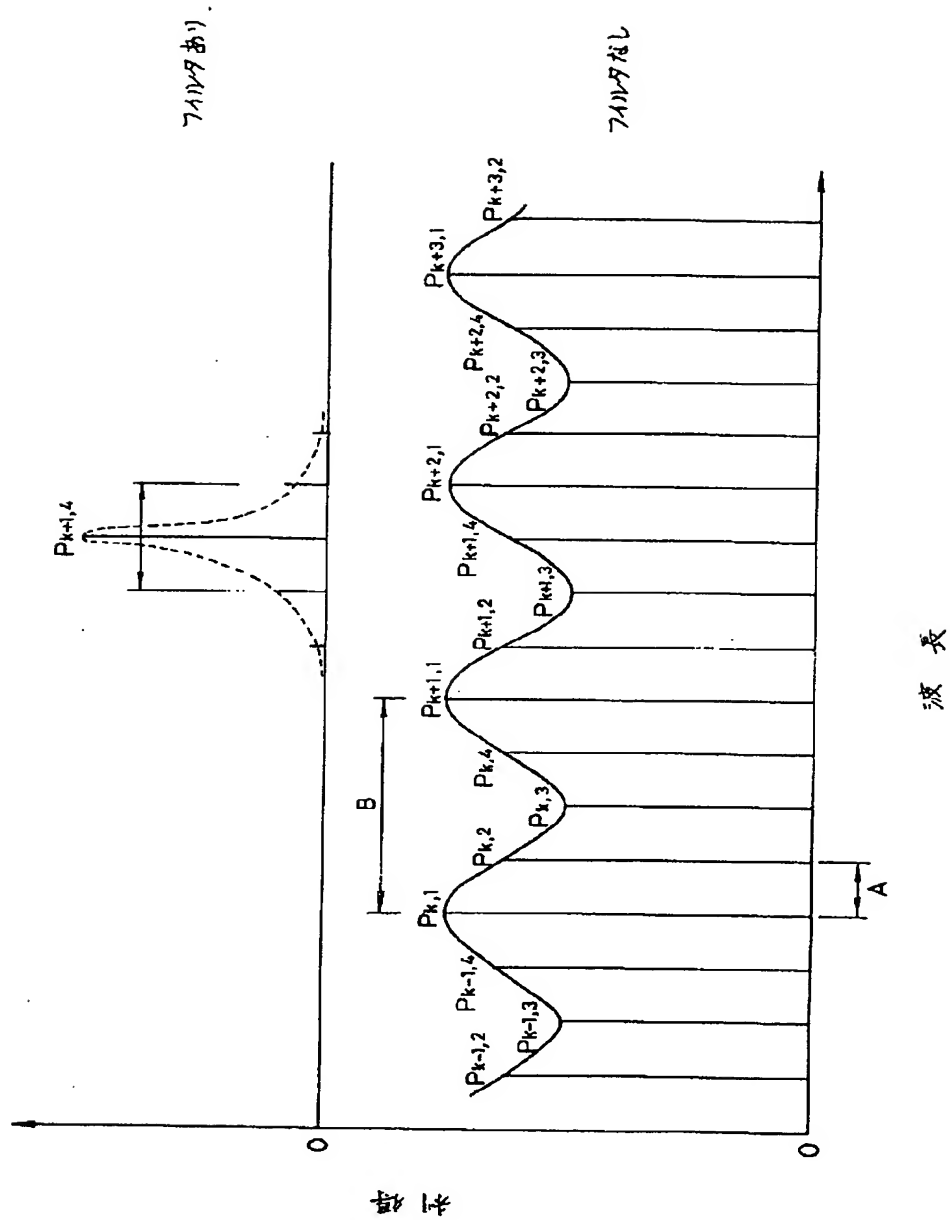


(b)

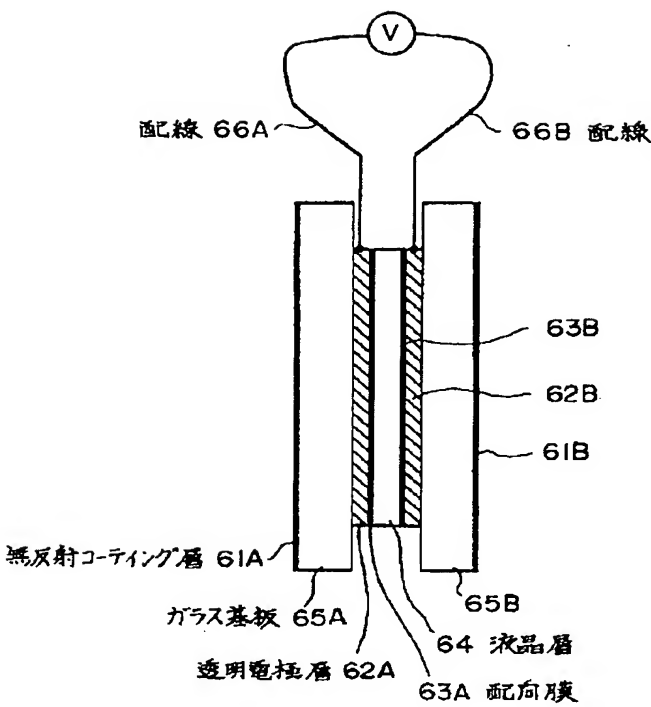
液晶分子の配位図  
第 3 図



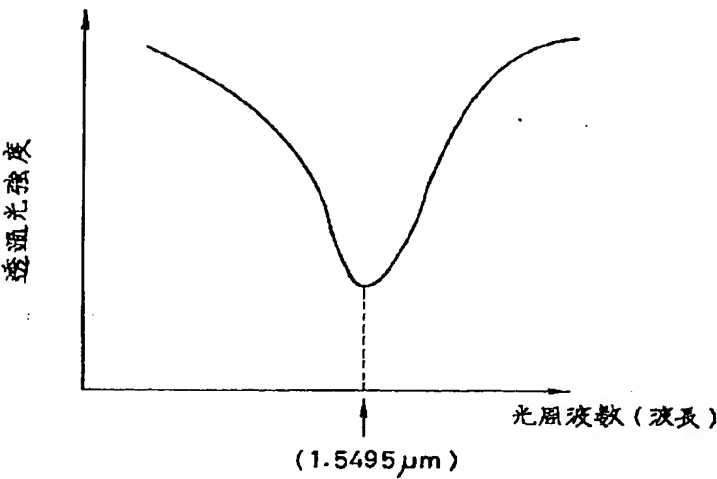
可変波長フィルタの透過スペクトル図  
第 4 図



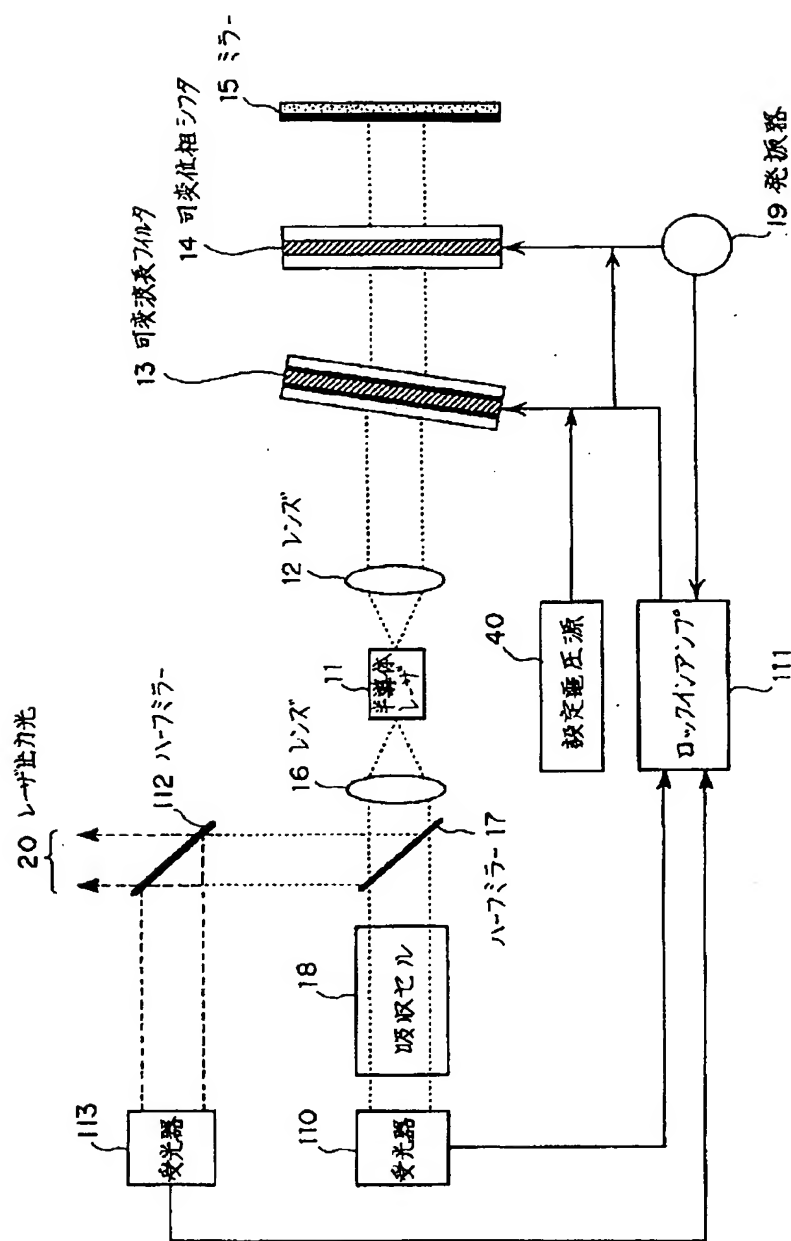
レーザ共振器の利得スペクトル図  
第5図



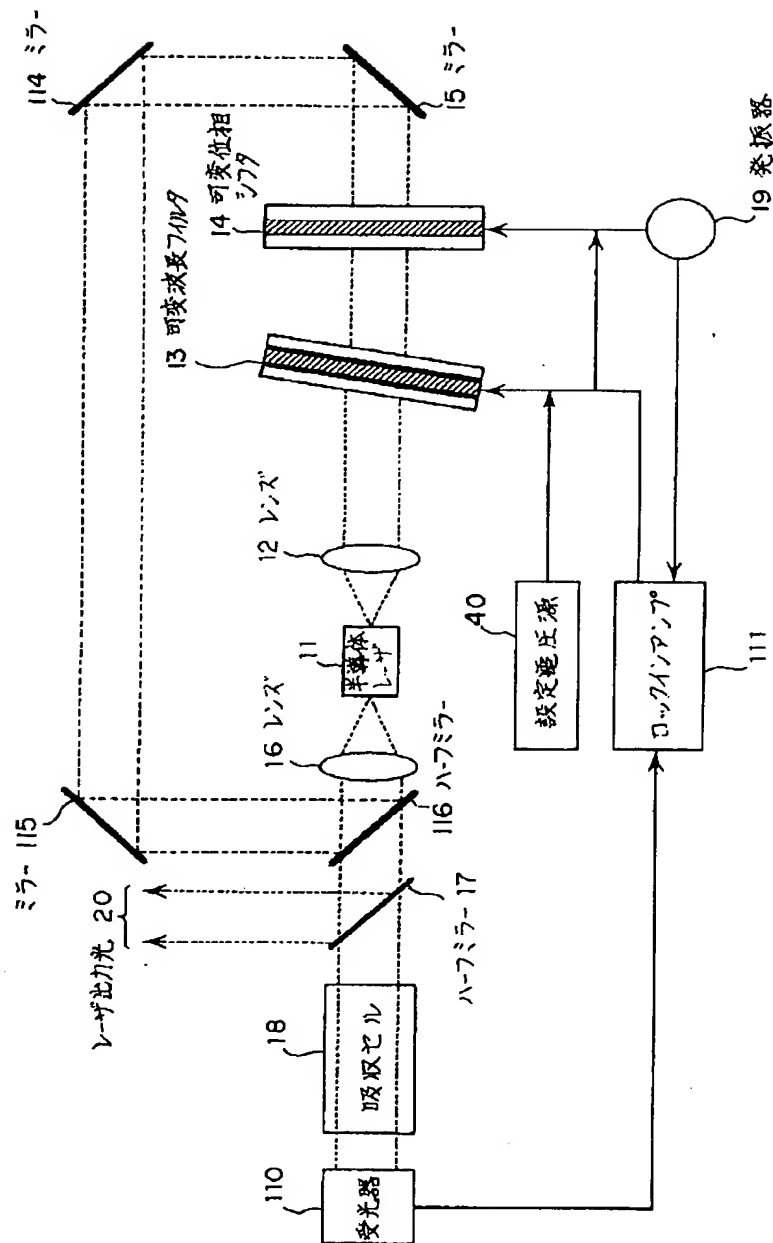
可変位相シフタの断面図  
第 6 図



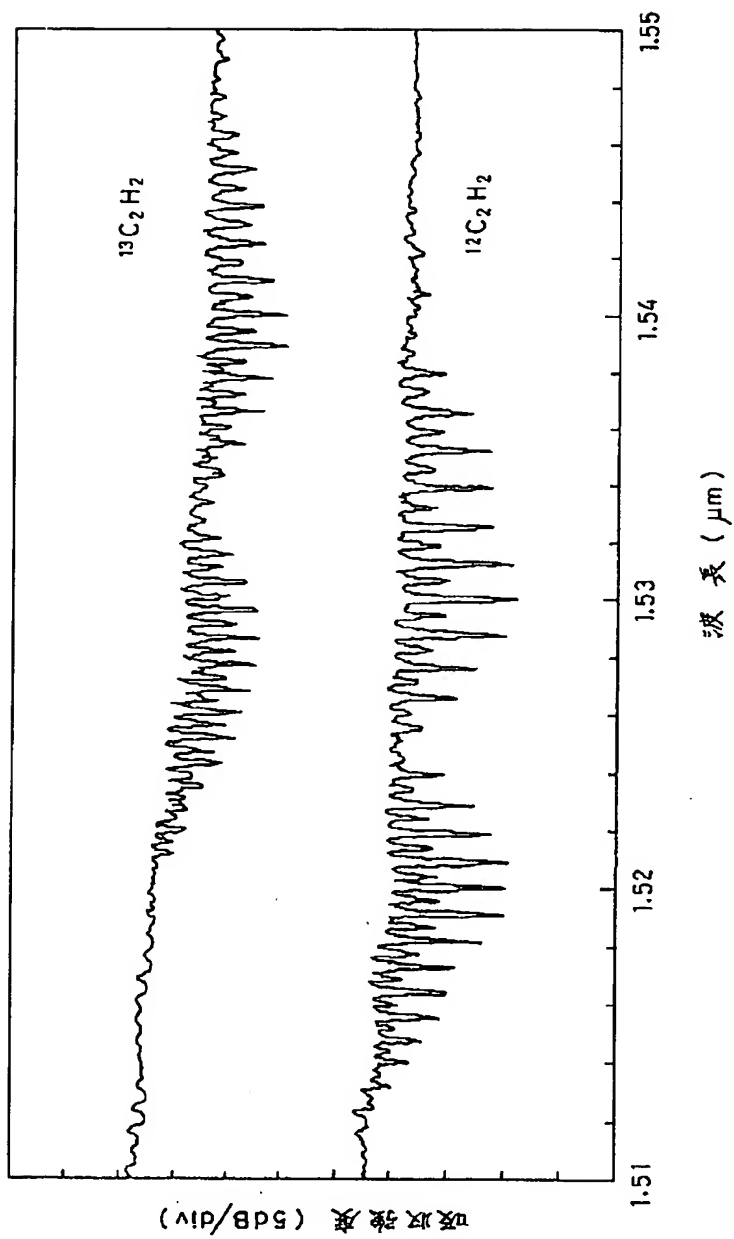
吸収セルの入出力特性図  
第 7 図



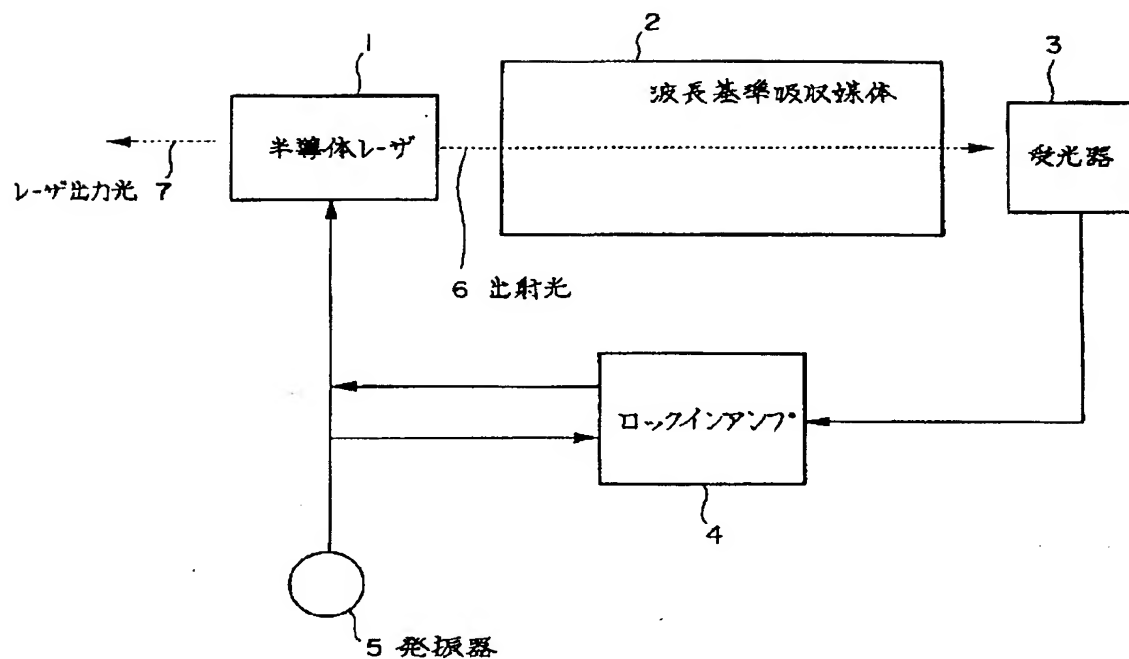
本発明実施例の構成ブロック図  
第 8 図



本発明実施例の構成ブロック図



1.51  $\mu\text{m}$  ~ 1.55  $\mu\text{m}$  帯での  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  と  $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$  の光吸収特性図  
第 10 図



従来例の構成ブロック図  
第11図